

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ И ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ЦЕЛИ ДВУМЯ НАБЛЮДАТЕЛЯМИ НА ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ КУРСАХ

Г. Л. Поляк

*Учреждение Российской академии наук  
Институт проблем управления РАН имени В. А. Трапезникова*

Поступила в редакцию 02.03.2016 г.

**Аннотация.** Работа посвящена определению курса, скорости цели и дистанции до неё (ЭДЦ) при условии, что цель и два наблюдателя движутся постоянными курсами и скоростями. Предполагается, что наблюдатели производят замеры пеленгов на цель и минимизируют сеансы связи (желательно один раз) в процессе определения ЭДЦ. В работе используется метод определения ЭДЦ изложенный в [1].

**Ключевые слова:** пеленгование, величина изменения пеленга (ВИП), величина изменения расстояния логарифмическая (ВИРЛ), элементы движения цели (ЭДЦ), сеанс связи.

## DETERMINATION OF COORDINATES AND MOTION PARAMETERS OF TARGET WITH TWO OBSERVERS IN RECTILINEAR COURSES

G. L. Polyak

**Abstract.** The work is devoted to determining the course, speed of the target and distance to it (EDTS), provided that the purpose and two observers move permanent courses and speeds. It is assumed that observers make measurements of the bearing to the target and minimize communication (preferably once) in the process of defining EDTS. The method of determining the EDTS presented in [1].

**Keywords:** direction finding, the amount of change of bearing(VIP), the amount of change of the distance logarithmic (WIRL), the elements of target movement (EDTS), a communication session.

### ВВЕДЕНИЕ

Определение элементов движения цели является одним из основных задач, решаемых в процессе слежения за целью. В настоящее время наибольшую точность в определении ЭДЦ дают методы пеленгования. Помимо точности главным требованием к процессу определения ЭДЦ являются требования к скрытности. Эти ограничения приводят к тому, что наблюдателям желательно двигаться постоянными курсом и скоростью. Поскольку предполагается, что наблюдатели обеспечивают скрытность, то считаем, что цель не обнаруживает наблюдателя и движется также постоянным курсом и неизменной скоростью. При указанных условиях,

обеспечивающих скрытность процесса определения ЭДЦ, определения курса, скорости и дистанции цели одним наблюдателем является невозможным, нужны дополнительные условия, например, маневрирование наблюдателя, или уточнение дистанции с помощью других методов.

В этой работе рассматривается процесс определения ЭДЦ при помощи двух подвижных наблюдателей. Такой процесс возможен при условии, что наблюдатели имеют связь друг с другом и могут обмениваться сведениями о координатах друг друга и измеряемых ими пеленгах на цель в определенные моменты времени. При этом предполагается, что число сеансов связи необходимо минимизировать и в идеале их должно быть не более одного за весь процесс определения ЭДЦ. Процесс определения ЭДЦ будет заключаться в том, что наблюдатели будут двигаться своими курсами и скоростями для определения величин изменения пеленга и логарифма расстояния на разные для каждого наблюдателя моменты времени. Зная эти величины и координаты обоих наблюдателей, можно будет определить в заданный момент времени пеленга на цель от обоих наблюдателей и пеленга наблюдателей друг на друга, а также расстояние между наблюдателями. Значения этих величин дает значения стороны между наблюдателями и прилегающих к ней углов в треугольнике, вершинами которого являются наблюдатели и цель. Решив этот треугольник, определим дистанцию до цели, а затем курс и скорость цели. Перейдем к постановке задачи построения алгоритма определения ЭДЦ двумя наблюдателями при скрытном слежении за целью.

## **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

Рассмотрим задачу определения параметров движения цели двумя наблюдателями методами пеленгования при условии равномерного и прямолинейного движения цели и наблюдателей.

Разобьем алгоритм определения ЭДЦ и дистанции до цели на три этапа. На первом этапе один из наблюдателей независимо от другого производит слежение за целью, пеленгуя её. При этом, как известно [1,2], определить полные ЭДЦ (курс, скорость, дистанцию) невозможно. Поэтому определяем то, что возможно, то есть величину изменения пеленга ВИП (производную пеленга), величину изменения расстояния ВИРЛ (производную логарифма дистанции) с тем, чтобы использовать значения этих величин для вычисления значения пеленгов на цель в любой момент времени.

На втором этапе получаем пеленг на цель от второго наблюдателя и время  $T$  его измерения. На этот же момент времени второй наблюдатель сообщает другому свои координаты для вычисления дистанции между ними. Имея эти данные и результаты первого этапа, можно определить на момент времени  $T$  пеленг на цель со стороны первого наблюдателя, а также расстояние между наблюдателями. Это позволяет на момент времени  $T$  построить треугольник, в вершинах которого находятся наблюдатели и цель. В этом треугольнике в силу результатов второго этапа известна сторона, на которой расположены наблюдатели и углы, прилегающие к ней, что позволяет определить стороны треугольника и тем самым определить дистанцию до цели на момент времени  $T$ .

На третьем этапе необходимо определить дистанцию между первым наблюдателем и целью в начальный момент времени. Знание ВИП и ВИРЛ, которые определены на первом этапе для начального момента времени, дало нам два уравнения с тремя неизвестными: дистанцией до цели, курсом и скоростью цели. Определение дистанции в начальный момент времени превращает эти уравнения в уравнения с двумя неизвестными, то есть разрешаемыми. Следовательно, предлагаемый алгоритм полностью решает задачу определения ЭДЦ и дистанции с использованием наблюдения за целью с двух подвижных точек.

## ВЫЧИСЛЕНИЕ ВИП И ВИРЛ ПУТЕМ ИНТЕГРИРОВАНИЯ УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ ЦЕЛИ И НАБЛЮДАТЕЛЯ В ОТНОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ

На первом этапе процесса определения ЭДЦ будем рассматривать определение параметров движения цели, которые определяются независимо одним наблюдателем. При этом будем предполагать, что цель и наблюдатель движутся равномерно и прямолинейно. Тогда уравнения движения цели в относительных координатах (относительно наблюдателя) запишутся в следующем виде

$$\left. \begin{aligned} \frac{dD}{dt} &= V \cos(\Pi - K) \\ \frac{d\Pi}{dt} &= -\frac{V \sin(\Pi - K)}{D(t)} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где:  $\Pi$  — пеленг наблюдателя на цель,  $D$  — дистанция между целью и наблюдателем,  $t$  — время,  $V$  — относительная скорость цели (константа),  $K$  — относительный курс цели (константа).

Относительный курс и относительная скорость цели связаны с курсами и скоростями наблюдателя и цели следующими зависимостями

$$\left. \begin{aligned} V \cos(\Pi - K) &= V_2 \cos(\Pi - K_2) - V_1 \cos(\Pi - K_1) \\ V \sin(\Pi - K) &= V_2 \sin(\Pi - K_2) - V_1 \sin(\Pi - K_1) \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где:  $V_2, K_2$  — скорость и курс цели (константы),  $V_1, K_1$  — скорость и курс наблюдателя (константы).

Из системы (1) получим уравнение первого порядка в других координатах

$$\frac{dD}{d\Pi} = -D \frac{\cos(\Pi - K)}{\sin(\Pi - K)}. \quad (3)$$

Проинтегрируем уравнение (3) и будем иметь

$$D(t) \sin(\Pi(t) - K) = D_0 \sin(\Pi_0 - K) = \text{const}, \quad (4)$$

где  $D_0, \Pi_0$  — начальные значения дистанции и пеленга.

Нижнее уравнение системы (1) представим в следующем виде

$$\frac{d\Pi}{dt} = -\frac{V \sin^2(\Pi - K)}{D \sin(\Pi - K)} = -\frac{V \sin^2(\Pi - K)}{D_0 \sin(\Pi_0 - K)}. \quad (5)$$

В силу соотношения (4) знаменатель в правой части уравнения (5) не зависит от переменной величины  $t$ , поэтому после интегрирования будем иметь

$$\text{ctg}(\Pi - K) = \text{ctg}(\Pi_0 - K) + \frac{V}{D_0 \sin(\Pi_0 - K)}(t - t_0). \quad (6)$$

Если левую часть равенства (6) умножить на левую часть равенства (4), а правую часть равенства (6) умножить на правую часть равенства (4) и в полученном равенстве сделать необходимые преобразования, то получим решение уравнения (5) в виде

$$D \cos(\Pi - K) = D_0 \cos(\Pi_0 - K) + V(t - t_0). \quad (7)$$

Введем обозначения

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \alpha(t) = \frac{D(t) \sin(\Pi(t) - K)}{V} \\ \beta &= \beta(t) = \frac{D(t) \cos(\Pi(t) - K)}{V} \end{aligned} \right\}. \quad (8)$$

где:  $D(t)$ ,  $\Pi(t)$  — дистанция и пеленг.

При обозначениях (8) решение уравнений (1) будет иметь вид

$$\begin{aligned} \alpha &= \alpha(t_0), \\ \beta(t) &= \beta(t_0) + t - t_0. \end{aligned} \quad (9)$$

Из приведенных выше выкладок следует вывод, что в режиме пеленгования можно определить только комплексные величины  $\alpha$  и  $\beta$  или величины производные от них.

Из уравнения (9) видно, что по замерам пеленгов можно определить только  $\alpha$ ,  $\beta$ . Перейдем от них к более понятным, физически ясным показателям. Для этого преобразуем уравнения (1), умножив числитель и знаменатель в правых частях на одно и то же выражение

$$\begin{aligned} \frac{dD}{dt} &= V \cos(\Pi - K) = \frac{D^2}{V^2} V \frac{\cos(\Pi - K)}{D^2}, \\ \frac{1}{D} \frac{dD}{dt} &= \frac{d \ln D}{dt} = \frac{D}{V} \frac{\cos(\Pi - K)}{D^2} = \frac{\beta(t)}{\alpha^2 + \beta^2(t)} \end{aligned} \quad (10)$$

$$\frac{d\Pi}{dt} = -\frac{V}{D} \sin(\Pi - K) = -\frac{D}{V} \frac{\sin(\Pi - K)}{D^2} = -\frac{\alpha}{\alpha^2 + \beta^2}. \quad (11)$$

Из уравнения (11) определяется производная пеленга, которая называется величиной изменения пеленга  $ВИП = \frac{d\Pi}{dt}$ . Из уравнения (10) определяется производная логарифма дистанции. В штурманской практике пользуются значением производной дистанции, которую называют величиной изменения расстояния  $ВИР$ . По аналогии введем обозначение  $ВИРЛ = \frac{d \ln(D)}{dt}$ , которую назовем величиной изменения расстояния логарифмической. Эта величина отвечает на вопрос: во сколько раз изменилась дистанция, в то время как  $ВИР$  отвечает на вопрос на сколько изменилась дистанция.  $ВИРЛ$  имеет то преимущество, что она может быть рассчитана только по замерам пеленгов, в то время как для получения  $ВИР$  требуются замеры дистанции. Отметим, что обе введенные величины имеют ясный физический смысл.

Таким образом, без выполнения специального маневрирования на начальном этапе определения ЭДЦ только по замерам пеленгов могут быть определены сторона движения цели по  $ВИП$  и тем самым отсечён зеркальный курс цели, а также определено по  $ВИРЛ$  изменение дистанции в сторону сближения или удаления с целью.

Для определения  $ВИП$  и  $ВИРЛ$  достаточно иметь только три пеленга  $\Pi_2$ ,  $\Pi_1$ ,  $\Pi_0$ . Уравнения для вычисления  $ВИР$  и  $ВИРЛ$  получим из следующих формул.

Из соотношений (8) получим уравнение  $\text{tg}(\Pi(t) - K) = \frac{\alpha}{\beta(t)}$ , из которого следуют уравнения при трёх замерах пеленгов

$$\Pi_k - \Pi_0 = \text{arctg} \left( \frac{\alpha_0}{\beta_0 + (t_k - t_0)} \right) - \text{arctg} \left( \frac{\alpha_0}{\beta_0} \right), \quad k = 1, 2, \quad (12)$$

где:  $\Pi_k$  — текущие пеленги в моменты времени  $t_k$ , а  $\Pi_0$  — пеленг в начальный момент времени  $t_0$ . Из этих двух уравнений можно определить две неизвестные  $\alpha_0$ ,  $\beta_0$ .

Возьмем тангенс от левой и правой частей формулы (9), затем воспользуемся определениями  $ВИРЛ$  (10) и  $ВИП$  (11), тогда получим

$$A_k = \text{tg}(\Pi_k - \Pi_0) = \frac{r_k \cdot ВИП_0}{1 + r_k \cdot ВИРЛ_0}, \quad (13)$$

где:  $ВИП_0$ ,  $ВИРЛ_0$  — значения величин при  $t_0$ ,  $r_k = t_k - t_0$ .

Формулу (13) будем использовать для прогнозирования значений пеленгов на цель для любого  $t_k$ . Следует при этом обратить внимание, что тангенс будет иметь два значения,

но при этом, учитывая измеренные значения пеленга, не трудно будет выбрать правильное значение прогнозируемого пеленга.

## ИНФОРМАЦИЯ СЕАНСА СВЯЗИ МЕЖДУ НАБЛЮДАТЕЛЯМИ

На втором этапе определения ЭДЦ наблюдатели должны обмениваться информацией, полученной на первом этапе. Эта информация должна дать возможность наблюдателю определить дистанцию до цели в любой момент времени. Следовательно, в нашем случае необходимо получить наблюдателю № 1 от наблюдателя № 2 следующие данные

- время измерения пеленга на цель  $t_0$ ,
- координаты наблюдателя № 2 на момент времени  $t_0$ ,
- пеленг на цель наблюдателя № 2 на момент времени  $t_0$ .

Если наблюдатель № 2 также определяет ЭДЦ, то он должен получить от наблюдателя № 1 такой же набор данных.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСТАНЦИИ

Предположим дистанцию до цели определяет наблюдатель № 1. Тогда по формуле (13) для времени  $t_0$  (времени измерения пеленга наблюдателем № 2) он рассчитывает собственный пеленг на цель, и по уравнениям движения собственного корабля находит собственные координаты на момент времени  $t_0$ . Таким образом находим дистанцию между наблюдателями, то есть (смотри рисунок 1) отрезок, на одном конце которого наблюдатель № 1 (точка А), а на другом наблюдатель № 2 (точка В). Поскольку пеленг на цель на момент времени  $t_0$  для наблюдателя № 1 определен, а пеленг на цель на этот момент времени для наблюдателя № 2 сообщен во время сеанса связи, то можно построить треугольник (рисунок 1) с основанием АВ и прилегающими к нему углами  $\angle A, \angle B$  (обозначения углов совпадают с обозначениями углов треугольника) между боковыми сторонами АС и ВС и основанием АВ. В точке С этого треугольника будет находиться цель, так как в один и тот же момент времени оба прямые пеленгов пересекаются в точке нахождения цели, а других точек пересечения у прямых быть не может. Решив этот треугольник, найдем дистанции до цели АС и ВС соответственно для наблюдателя № 1 и № 2.

Приведем выражения для расчета дистанций

$$AC = \frac{AB \sin B}{\sin(A + B)}, BC = \frac{AB \sin A}{\sin(A + B)}. \quad (14)$$

Определив дистанцию АС, по формулам (2, 8, 10, 11) можно определить курс и скорость цели. Рассмотрим подробно алгоритм расчета на примере.

### ПРИМЕР

Рассмотрим процесс определения элементов движения цели и дистанции двумя наблюдателями, обозначенными А и В по цели обозначенной С (рисунок 1). Введем ось  $x$  направленную на север и ось  $y$  направленную на восток. В начало координат поместим наблюдателя А, который в начальный момент времени имеет координаты  $x_A(t = 0) = 0, y_A(t = 0) = 0$ . Курс наблюдателя А равен  $0^\circ$ , скорость 6 узлов. Пеленг в начальный момент на цель  $P_{AC} = 330^\circ$ , на

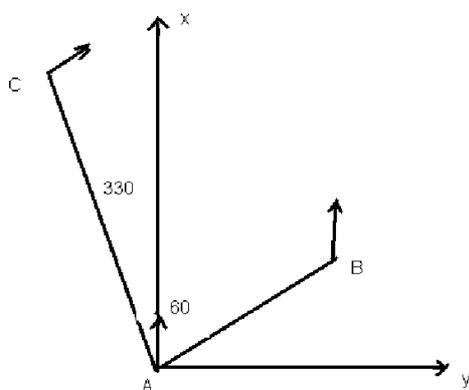


Рис. 1.

наблюдателя  $\Pi_{AB} = 60^\circ$ . Дистанция до цели С в начальный момент  $D_{AC}(t = 0) = 6$  миль, дистанция до второго наблюдателя В в начальный момент времени  $D_{AB}(t = 0) = 3$  мили. В начальный момент времени координаты второго наблюдателя В равны  $x_B(t = 0) = 1,5$  мили,  $y_B(t = 0) = 2,60$  миль. Курс наблюдателя В равен  $0^\circ$ , скорость 12 узлов. В начальный момент времени координаты цели С равны  $x_C(t = 0) = 5,2$  мили,  $y_C(t = 0) = -3$  мили. Курс цели С равен  $60^\circ$ , скорость 12 узлов.

Приступим к определению элементов движения цели С и дистанции до нее, пользуясь изложенной выше методикой.

Пусть имеются координаты наблюдателя А, а также пеленга на цель С от наблюдателя А в следующие моменты времени  $t = 0$ ,  $\Pi_0 = 330^\circ$ ;  $t = 5$  мин,  $\Pi_1 = 337,67^\circ$ ;  $t = 10$  мин,  $\Pi_2 = 346,29^\circ$ .

Кроме того имеем пеленг на цель С от наблюдателя в момент времени  $t = 7$  мин,  $\Pi_{BC} = 304,34^\circ$  и его координаты в этот же момент времени  $x_B = 5,90$  миль,  $y_B = -1,61$  миль.

Для определения ЭДЦ этих данных достаточно. Поэтому можно приступить к первому этапу: определению ВИП и ВИРЛ в начальный момент времени. Из формулы (13) получим систему уравнений

$$A_1 = \frac{r_1 \text{ВИП}_0}{1 + r_1 \text{ВИРЛ}_0}, \quad A_2 = \frac{r_2 \text{ВИП}_0}{1 + r_2 \text{ВИРЛ}_0}, \quad (15)$$

где  $A_1 = \text{tg}(\Pi_1 - \Pi_0)$ ,  $A_2 = \text{tg}(\Pi_2 - \Pi_0)$ ,  $r_1 = t_1 - t_0$ ,  $r_2 = t_2 - t_0$ .

Решив эти уравнения, получим

$$\text{ВИРЛ}_0 = \frac{\frac{A_2}{r_2} - \frac{A_1}{r_1}}{A_1 - A_2}, \quad \text{ВИП}_0 = A_1 \left( \frac{1}{r_1} + \text{ВИРЛ}_0 \right). \quad (16)$$

Подставляя значения пеленгов и соответствующие времена, получим

$$\text{ВИРЛ}_0 = -0,87 \frac{1}{\text{час}}, \quad \text{ВИП}_0 = 1,50 \frac{1}{\text{час}}.$$

На втором этапе, пользуясь данными полученными на 7-ой минуте от наблюдателя В, нужно построить треугольник для определения дистанции до цели на 7-ой минуте. Вычислить расстояние между наблюдателями А и В на момент времени  $t = 7$  мин достаточно просто поскольку известны координаты обоих наблюдателей.

$$S(t = 7) = ((x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2)^{\frac{1}{2}}.$$

Подставив значение координат, получим  $S(t = 7) = 3,40$  миль.

Определим пеленг на цель в момент времени 7 мин от наблюдателя А, то есть  $\Pi_{AC}(t = 7)$ . Для этого воспользуемся формулой (13) для случая  $r_7 = 7$  мин.

Отсюда  $\text{tg}(\Pi_{AC}(t = 7) - \Pi_0) = 0,19$  и  $\Pi_{AC}(t = 7) = 341,02^\circ$ . Таким образом получаем треугольник, в основании которого находится сторона с вершинами А и В, а третья вершина С находится на пересечении пеленгов наблюдателей. Остается определить углы в основании треугольника. Угол А =  $\Pi_{AB} + 360^\circ - \Pi_{AC}$ , Угол В =  $\Pi_{BC} - (\Pi_{AB} + 180^\circ)$ , то есть  $68,72^\circ$  и  $74,60^\circ$  соответственно.

Воспользуемся формулой расчета сторон треугольника по стороне и прилежащим к ней углам (14). Тогда, подставляя полученные ранее значения углов и стороны, получим  $D_{AC}(t = 7) = 5,49$  мили.

Перейдем к третьему этапу: расчету курса и скорости цели. Для этого необходимо вычислить ВИП, ВИРЛ и дистанцию до цели на один и тот же момент времени, например на

момент времени  $t = 0$ . Значения ВИП и ВИРЛ нами уже получено по формуле (16). Найдем значение дистанции  $D_0(t = 0)$ . Из формул (8) следует, что для любого  $t$  имеем

$$\frac{D^2(t)}{V^2} = \alpha^2 + \beta^2(t) = \alpha^2 + (\beta(t = t_0) + t - t_0)^2.$$

Отсюда получаем формулу, связывающую значения дистанций до цели в два любые момента времени

$$\frac{D_{AC}^2(t)}{D_{AC}^2(t_0)} = \frac{\alpha^2 + (\beta(t = t_0) + t - t_0)^2}{\alpha^2 + \beta^2(t = t_0)} \quad (17)$$

Чтобы найти дистанцию до цели, определим  $\alpha, \beta$  по формулам, связывающим их с ВИП и ВИРЛ, которые легко получить из (8), (10), (11)

$$\alpha = -\frac{\text{ВИП}}{\text{ВИП}^2 + \text{ВИРЛ}^2}, \quad \beta = \frac{\text{ВИРЛ}}{\text{ВИП}^2 + \text{ВИРЛ}^2}. \quad (18)$$

Как указано ранее по формуле (16) было определено  $\text{ВИП} = 1,501/\text{час}$ ,  $\text{ВИРЛ} = -0,871/\text{час}$  в начальный момент времени. Подставив эти значения в формулы (18), получим в начальный момент времени значения

$$\alpha = -0,5 \text{ час}, \quad \beta(t = t_0) = -0,29 \text{ час}.$$

Ранее нами получена дистанция до цели на момент времени 7 мин (0,12 часа)  $D_{AC}(t = 0,12) = 5,49$  мили и  $(t - t_0) = 0,12$  часа, поэтому по (17) получим  $D_{AC}(t_0) = 6,00$  миль. Определим скорость и курс цели. Воспользуемся уравнениями (2) и формулами (10), (11), которые определяют ВИРЛ и ВИП. Тогда получим формулы

$$V_2 \cos(\Pi - K_2) = D_{AC} \text{ВИРЛ} + V_1 \cos(\Pi - K_1), \quad (19)$$

$$V_2 \sin(\Pi - K_2) = -D_{AC} \text{ВИП} + V_1 \sin(\Pi - K_1). \quad (20)$$

Возведем правые и левые части этих уравнений и сложим их, получим квадрат скорости. Откуда, подставив наши данные, получим скорость цели  $V_2 = 12$  узлов. Подставив это значение в уравнения (19), (20) будем иметь два значения курса. Если они одинаковы, то расчет закончен. В нашем случае уравнение (19) дает значение  $K_2 = 240^\circ$ , а уравнение (20) дает значение  $K_2 = 60^\circ$ , то есть имеем истинный курс и зеркальный. Зеркальный курс легко отбросить, так как для обоих курсов по формуле (17) можно рассчитать истинную дистанцию для любого момента времени.

В нашем случае истинная дистанция для  $t = 7$  минут равна 5,49 мили, что совпадает с курсом  $60^\circ$ . Для зеркального курса вычисленная дистанция равна 4,77 мили, что позволяет его отбросить. Расчет закончен.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложен новый способ определения элементов движения цели и дистанции двумя наблюдателями с минимальным количеством пеленгов (три пеленга с одного наблюдателя и одним пеленгом с другого), взятыми в пассивном режиме в разные промежутки времени независимо друг от друга. Этого минимального набора данных достаточно для определения параметров движения цели. Этот пример показывает, что для определения ЭДЦ от второго наблюдателя требуется только один пеленг в произвольный момент времени. Эта работа является продолжением предыдущих работ автора [2, 3, 4].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поленин, В. И. Решение задачи определения координат положения и параметров движения объекта по данным угловых координат / В. И. Поленин, А. Н. Прокаев, А. В. Макшанов // Морская радиоэлектроника. — 2014. — № 3. — С. 38–40.
2. Борисов, В. Г. Определение координат и параметров движения цели на прямолинейных курсах / В. Г. Борисов, Г. Л. Поляк // Сборник “Труды крыловского государственного центра”. — 2014. — Вып. 81 (365). — С. 151–160.
3. Поляк, Г. Л. Погонное преследование цели при неполной информации, полученной в процессе преследования / Г. Л. Поляк // Сборник “Труды крыловского государственного центра”. — 2014. — Вып. 81 (365). — С. 161–170.
4. Поляк, Г. Л. Определение координат и параметров движения при маневрировании цели или преследователя / Г. Л. Поляк // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. Физика, математика. — 2016. — № 2. — С. 138–144.
5. Баев, А. Д. Теоремы о “следах” для одного класса псевдодифференциальных операторов с вырождением / А. Д. Баев, Р. А. Ковалевский, М. Б. Давыдова // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. Физика, математика. — 2015. — № 2. — С. 63–75.
6. Баев, А. Д. О свойствах коммутации одного класса вырождающихся псевдодифференциальных операторов с операторами дифференцирования / А. Д. Баев, П. А. Кобылинский, М. Б. Давыдова // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. Физика, математика. — 2014. — № 4. — С. 102–108.
7. Баев, А. Д. О некоторых свойствах одного класса псевдодифференциальных операторов с вырождением / А. Д. Баев, П. А. Кобылинский // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. Физика, математика. — 2014. — № 2. — С. 66–73.

## REFERENCES

1. Polenin V. I., Prokaev A. N., Makshanov A.V. The solution to the problem of determining the position coordinates and motion parameters of the object according to the angular coordinates. [Polenin V.I., Prokaev A.N., Makshanov A.V. Reshenie zadachi opredeleniya koordinat polozheniya i parametrov dvizheniya ob"ekta po dannym uglovykh koordinat]. *Morskaya radioelektronika — Marine Radio electronics*, 2014, no. 3, pp. 38–40.
2. Borisov V.G., Polyak G.L. Determination of coordinates and motion parameters purposes on straight courses. [Borisov V.G., Polyak G.L. Opredelenie koordinat i parametrov dvizheniya celi na pryamolinejnykh kursax]. *Trudy krylovskogo gosudarstvennogo centra — Proceedings of the Krylov state center*, 2014, iss. 81 (365), pp. 151–160.
3. Polyak G.L. Linear pursuit of a goal with incomplete information obtained in the process of prosecution. [Polyak G.L. Pogonnoe presledovanie celi pri nepolnoj informacii, poluchennoj v processe presledovaniya]. *Trudy krylovskogo gosudarstvennogo centra — Proceedings of the Krylov state center*, 2014, iss. 81 (365), pp. 161–170.
4. Polyak G.L. Determining the coordinates and driving parameters in maneuvering purpose or pursuers. [Polyak G.L. Opredelenie koordinat i parametrov dvizheniya pri manevrirovanii celi ili presledovatelya]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Fizika. Matematika — Proceedings of Voronezh State University. Series: Physics. Mathematics*, 2016, no. 2, pp. 138–144.
5. Baev A.D., Kovalevsky R.A., Davidova M.B. Theorems about the «trecas» for a class of pseudodifferential operators with degeneracy. [Baev A.D., Kovalevskij R.A., Davydova M.B. Teoremy o “sledax” dlya odnogo klassa psevdodifferencial'nyx operatorov s vyrozhdeniem]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Fizika. Matematika — Proceedings of Voronezh State University. Series: Physics. Mathematics*, 2015, no. 2, pp. 63–75.

6. Baev A.D., Kobylinskii P.A., Davidova M.B. On the Properties of Switching a Class of Degenerate Pseudo-Differential Operators with the Operators Of Differentiation. [Baev A.D., Kobylinskij P.A., Davydova M.B. O svojstvax kommutacii odnogo klassa vyrozhdajushhixsya psevdodifferencial'nyx operatorov s operatorami differencirovaniya]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Fizika. Matematika – Proceedings of Voronezh State University. Series: Physics. Mathematics*, 2014, no. 4, pp. 102–108.

7. Baev A. D., Kobylinskii P. A. Some properties of a class of pseudodifferential operators with degeneration. [Baev A. D., Kobylinskij P. A. O nekotoryx svojstvax odnogo klassa psevdodifferencial'nyx operatorov s vyrozhdeniem]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Fizika. Matematika – Proceedings of Voronezh State University. Series: Physics. Mathematics*, 2014, no. 2, pp. 66–73.

Поляк Г. Л., Старший научный сотрудник,  
Институт проблем управления РАН име-  
ни В. А. Трапезникова, Москва, Россия  
E-mail: lfplk@ipu.ru  
Тел.: +7(495)334-78-01

Polyak G. L., Senior researcher, Institute  
of control Sciences named after V. A.  
Trapeznikova, Moscow, Russia  
E-mail: lfplk@ipu.ru  
Tel.: +7(495)334-78-01